

# РЕНТГЕНОТЕРАПИЯ ОПУХОЛЕЙ И НЕОПУХОЛЕВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

## X-RAY THERAPY OF TUMORS AND NON-NEOPLASTIC DISEASES

### ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ НОВЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ДОЗИМЕТРИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКИХ И СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ

В. Н. Васильев, А. Ю. Смыслов

ФГБУ «Российский научный центр рентгенодиагностики» Минздрава России, Москва, Россия

На основе существующих дозиметрических протоколов (AAPM TG-61, IPEMB, DIN, NCS-10, SGSMP, МАГАТЭ) сформулированы предложения по созданию новых методических рекомендаций по дозиметрии излучения рентгенотерапевтических аппаратов. Обсуждаются методы измерения дозы в воздухе и в фантоме ионизационными камерами, калиброванными в единицах воздушной кермы или поглощенной дозы в воде, водно-эквивалентность фантомных материалов для рассматриваемого диапазона энергий, рекомендуемые модели оборудования.

### APPROACHES TO CREATE NEW LOW AND MEDIUM ENERGY X-RAY BEAM DOSIMETRY GUIDELINES

Vladimir N. Vasiliev, Aleksey Yu. Smyslov

FSBI «Russian Scientific Center of Roentgenoradiology» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

On the basis of existing dosimetry protocols (AAPM TG-61, IPEMB, DIN, NCS-10, SGSMP, IAEA), some proposals have been formulated to create new Russian guidelines for kilovoltage X-ray therapy beams dosimetry. In-air and in-phantom methods of dose measurement are discussed by ionization chambers calibrated in air kerma or absorbed dose to water. Water equivalence of phantom materials in the energy range under consideration are reviewed as well as recommended models of dosimetry equipment.

**Цель исследования:** сформулировать и обосновать предложение по разработке национальных методических рекомендаций по дозиметрии на современных рентгенотерапевтических аппаратах

**Материалы и методы.** Методические рекомендации по дозиметрии рентгеновского излучения, включающие атлас дозовых распределений, были опубликованы в нашей стране в 1986 году для аппарата РУМ21М и с этого времени не обновлялись. Данные были получены с относительно высокой погрешностью (10%), а для ряда режимов были обнаружены неточности. Между тем, изменился парк рентгенотерапевтических аппаратов, в ряде стран были разработаны дозиметрические протоколы для абсолютной дозиметрии рентгеновского излучения, основанные на измерениях в фантоме или свободном воздухе. Критический анализ этих протоколов приведен в работе [Васильев В.Н., Смыслов А.Ю., Коконцев А.А. Сравнительный анализ протоколов абсолютной калибровки рентгенотерапевтических пучков низких и средних энергий]. Таким образом, актуальной задачей становится подготовка новых методических рекомендаций (протокола), включающих пучки рентгеновского излучения низких и средних энергий и отвечающих современным международным требованиям.

**Результаты.** Сформулировано и обосновано предложение по разработке национальных методических рекомендаций по дозиметрии на современных рентгенотерапевтических аппаратах

**Заключение.** В настоящем докладе авторы на основе анализа существующих международных и национальных дозиметрических протоколов для рентгеновских пучков обсуждают целесообразность и приводят аргументы поддержки новыми рекомендациями следующих видов калибровки пользовательских рентгеновских пучков: изме-

рения в фантоме ионизационными камерами, калиброванными по поглощенной дозе в воде или воздушной керме. Использование в первом случае первичных эталонов на основе водных калориметров позволяет получить погрешность определения поглощенной дозы в воде в пучке пользователя существенно ниже, чем при преобразовании от воздушной кермы. Обсуждаются проблемы, возникающие при измерениях в воздухе в обоих энергетических диапазонах как аргумент против включения этих методов калибровки пользовательских пучков. Рассмотрена методика относительных измерений дозы и пригодность различных водно-эквивалентных пластиков для пучков средних и низких энергий. Сформулированы предложения по списку рекомендуемых моделей ионизационных камер.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Подляшук Е.Л., Устинова В.Ф., Фролова А.В. *Методические рекомендации. Лучевая терапия на короткодистанционном аппарате РУМ-21М*. МЗ СССР. М., 1986. [Podlyashuk E.L., Ustinova V.F., Frolova A.V. *Guidelines. Radiation therapy on a short-distance apparatus RUM-21M*. Ministry of Health of the USSR. Moscow, 1986 (In Russ.).]
2. Васильев В.Н., Коконцев А.А. Измерение кривых глубинной дозы излучения рентгенотерапевтического аппарата РТА // *Медицинская техника*. 1997. № 5. С. 11–14. [Vasiliev V.N., Kokontsev A.A. Measurement of curves of the depth dose of radiation of the X-ray therapy apparatus RTA. *Medical technology*, 1997, No 5, pp. 11–14 (In Russ.).]
3. Васильев В.Н., Смыслов А.Ю., Коконцев А.А. Сравнительный анализ протоколов абсолютной калибровки рентгенотерапевтических пучков низких и средних энергий // *Мед. физика*. 2020. № 4 (88). С. 29–45. [Vasiliev V.N., Smyslov A.Yu., Kokontsev A.A. Comparative analysis of absolute calibration protocols for low and medium energy X-ray therapy beams. *Medical Physics*, 2020, No 4 (88), pp. 29–45 (In Russ.).]
4. American Association of Physicists in Medicine (AAPM), AAPM protocol for 40–300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology // *Medical Physics*. 2001. Vol. 28, No 6. P. 868–893.
5. Institution of Physics and Engineering in Medicine and Biology (IPEMB), The IPEMB code of practice for the determination of absorbed dose for x-rays below 300 kV generating potential (0.035 mm Al–4 mm Cu HVL; 10–300 kV generating potential) // *Phys. Med. Biol.* 1996. Vol. 41. P. 2605–2625.
6. Nederlandse Commissie voor Stralingsdosimetrie (NCS), Dosimetry of low and medium energy x-rays: A code of practice for use in radiotherapy and radiobiology, NCS Report 10, NCS, Delft. 1997.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 29.01.2021 г.

Контакт / Contact: Смыслов Алексей Юрьевич, [vnvasil57@gmail.com](mailto:vnvasil57@gmail.com)

### Сведения об авторах:

Васильев Владимир Николаевич — старший научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Профсоюзная ул., д. 86; e-mail: [mailbox@mcrr.ru](mailto:mailbox@mcrr.ru);

Смыслов Алексей Юрьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенодиагностики» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, Профсоюзная ул., д. 86; e-mail: [mailbox@mcrr.ru](mailto:mailbox@mcrr.ru).

Открыта подписка на 2-е полугодие 2021 года.

Подписные индексы:

ООО «Агентство „Книга-Сервис“» **E42177**

## РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ РЕНТГЕНОТЕРАПИИ

А. С. Дмитриев, Н. Н. Потрахов, С. А. Никитин, В. В. Харламов  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова  
(Ленина)», Санкт-Петербург, Россия  
Государственный научный центр Российской Федерации  
«Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский  
институт робототехники и технической кибернетики», Санкт-  
Петербург, Россия

Доклад содержит краткий обзор основных результатов разработки технической системы для проведения интраоперационной рентгенотерапии.

## DEVELOPMENT OF ROBOTIC SYSTEM FOR INTRAOPERATIVE X-RAY THERAPY

Aleksander S. Dmitriev, Nikolay N. Potrakhov, Sergey A. Nikitin,  
Vyacheslav V. Kharlamov  
St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia  
State Scientific Center of the Russian Federation «Central Research and  
Development Institute of Robotics and Technical Cybernetics»,  
St. Petersburg, Russia

The report contains a brief overview of the main results of the development of a technical system for intraoperative X-ray therapy.

**Цель исследования:** разработка медицинского комплекса для осуществления методики интраоперационной рентгенотерапии (ИОРТ), в частности, для терапии рака легких. Такой инструмент позволит проводить облучение прямо в операционной, после удаления опухоли хирургическим путем.

**Материалы и методы.** Предлагаемая методика ИОРТ является развитием методики контактной лучевой терапии — брахитерапии (от греч. brachys — короткий, соответственно, терапия с «короткого» или близкого расстояния). Доза рентгеновского излучения подводится непосредственно к опухоли при расположении источника излучения на минимальном расстоянии от нее, который, в свою очередь, вводится в тело пациента через межреберный разрез грудной клетки. Энергия излучения и размеры поля облучения выбираются из условия: облучение опухоли необходимой дозой при одном или нескольких положениях источника. При этом практически полностью отсутствует облучение окружающих здоровых тканей. Для реализации этого подхода был разработан специализированный рентгеновский излучатель, основу которого составляет отечественная рентгеновская трубка оригинальной конструкции. Мишень прострельного типа в предлагаемой конструкции вынесена из вакуумного объема трубки на длинной и тонкой анодной трубе. В качестве устройства позиционирования и навигации источника рентгеновского излучения внутри тела пациента выбран коллаборативный роботизированный манипулятор. Данный манипулятор является лёгким, компактным, легко программируемым, настраиваемым и эргономичным, что упрощает его использование. Открытая архитектура системы управления, благодаря которой возможна разработка собственного программного обеспечения, также послужила критерием для выбора манипулятора. Такая роботизированная система позволяет выполнить несколько задач, а именно: ввод

источника излучения (мишень рентгеновской трубки) максимально близко к ложе опухоли; позиционирование и навигация мишени рентгеновской трубки внутри тела пациента; минимизация облучения медицинского персонала в ходе проведения операций.

**Результаты.** К настоящему моменту разработаны все основополагающие узлы терапевтического комплекса, а именно: источник рентгеновского излучения и роботизированное устройство позиционирования источника. Разработано оригинальное программное обеспечение, превращающее комплекс в удобный инструмент для проведения рентгенотерапевтической процедуры. Небольшие габариты и вес установки позволяют легко перемещать ее внутри хирургической операционной.

**Заключение.** После завершения всех тестов на согласованную работу всех узлов системы, установку можно считать полностью готовой к испытаниям на животных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Шинкарев С.А., Ратнов С.А., Черных А.В. Современные варианты лечения немелкоклеточного рака легкого // *Поволжский онкологический вестник*. 2013. С. 38. [Shinkarev S.A., Ratnov S.A., Chernykh A.V. Current treatment options for non-small cell lung cancer. *Povolzhsky Oncological Bulletin*, 2013, p. 38 (In Russ.).]
2. Дмитриев А.С., Потрахов Н.Н., Тимофеев Г.А. Технические средства интраоперационной контактной лучевой терапии. Источник рентгеновского излучения // *Физические основы приборостроения*. 2019. Т. 8, № 4. С. 57–61. [Dmitriev A.S., Potrakhov N.N., Timofeev G.A. Technical means of intraoperative contact radiation therapy. X-ray source. *Physical foundations of instrumentation*, 2019, Vol. 8, No 4, pp. 57–61 (In Russ.).]
3. Dmitriev A. S., Timofeev G. A., Potrakhov N. N. X-ray Source for Intraoperative Radiation Therapy // *AIP Conf. Proc.* 2019. 2089, 020009.
4. Gerard J.P., Sun Myint A., Lindegaard J. et.al. Renaissance of contact x-ray therapy for treating rectal cancer // *Expert Rev. Med. Devices*. 2011. Vol. 8, No 4. P. 483–492.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 29.01.2021 г.

Контакт / Contact: *Дмитриев Александр Сергеевич*, as\_dmit@mail.ru

## Сведения об авторах:

*Дмитриев Александр Сергеевич* — инженер, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5;

*Потрахов Николай Николаевич* — доктор технических наук, профессор федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»; 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5;

*Никитин Сергей Александрович* — начальник научно-технического отделения Государственного научного центра Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики»; 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21;  
*Харламов Вячеслав Валентинович* — заместитель директора — главного конструктора Государственного научного центра Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики»; 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21.